

II - 6

LES による連続した突起物周辺の流れの解析と模型実験

東北大学大学院 学生員 ○藤村 立行
東北大学工学部 正会員 真野 明

1. 研究の目的

Reynolds 数の高い流れ場を比較的少ない格子数で精度良く計算する手法として LES (Large Eddy Simulation) が提案されている。本研究では、突起物（以下バップル）を連続的に配置した形状のまわりの二次元的な非圧縮流れに対して、LES を適用して、平均流速特性や長周期変動特性を求め、水理実験と比較検討した。

2. 実験の概要

実験装置は図 1 のように、整水タンク、管水路、貯水タンク、調節バルブ、揚水ポンプ、ポンプホースから成り、水を循環させている。矩形断面（縦 20cm、横 10cm）をもつ全長 4m の管水路は、透明アクリル板製であり、整水タンク同様水密構造となっている。バップルも、同じアクリル板を用いており、管水路内に上下対称に、等間隔（40cm）4 列に配置した。流量 Q は調節バルブにより調節した。ここで、 $L (=40\text{cm})$ はバップルの間隔、 B はバップル高さであり、Reynolds 数は表 1 で定義した。可視化には、トレーサ法を採用し、ビデオカメラおよびスチルカメラを用いて撮影した。

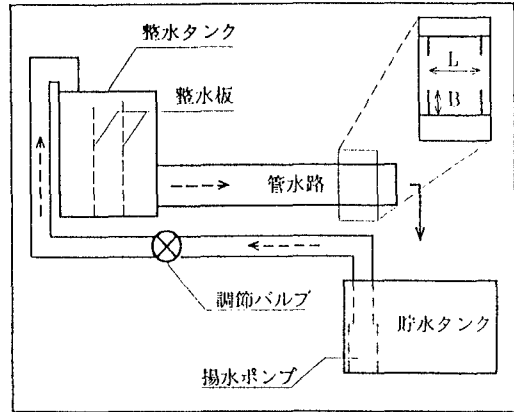


図-1 実験装置の概略図

3. LES (Smagorinski model) による数値計算

基礎方程式を表 2 に示す。空間的な平均化操作（オーバーバーで表す）を行い、渦動粘性係数にずり変形速度 $\bar{S}_{ij}$ を用いることで、メッシュスケール以下のスケールの現象をモデル化している。格子配置には MAC 法、圧力緩和には SOR 法を用いた。Smagorinski 定数 C_s を 0.15 とした。また、流入境界では流速分布を与え、流出境界では速度勾配および圧力勾配なし、壁面は滑りなしとした。

表-1 レイノルズ数の定義

$R_B \equiv \frac{\bar{U} \times B}{\nu}$	
$\bar{U}$	狭断面平均流速 (cm/s)
B	バップル高さ (cm)
ν	動粘性係数 (cm ² /s)

表-2 Smagorinski model の基礎式

$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{p} + \frac{2}{3} K^* \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_{SGS}) \bar{S}_{ij}$		
$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$		
$\bar{S}_{ij} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}$	$K^* = \frac{\nu_{SGS}^2}{0.094^2 \times (h_1 h_2)}$	$\nu_{SGS} = C_s^2 \times (h_1 h_2) \times \left(\frac{(\bar{S}_{ij})^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$

4. 結果

模型実験における流れの全体的な特徴は、バップル後方で後流渦が発生し、蛇行していることである。計算では、バップル対第 1 列から第 3 列までを含む領域を対象とすると、蛇行流が表現できる。図 2 に示す各位置での流速の鉛直成分 $v1$ から $v3'$ の時系列を、フーリエ変換したものが図 3 である。いずれも 0.04Hz に最大ピークがあり、 $T = 25\text{s}$ の周期をもつ蛇行現象であることがわかる。図 4 は、実験およびシミュレーションでえられた第 1 バップル列、第 2 バップル列間の各断面の平均流速成分の鉛直分布であり、それぞれの最大値で無次元化したものである。シミュレーションにおける結果については、 $t = t_0 + 70\text{s}$ から $t = t_0 + 95\text{s}$ までの一周

期平均であり、ほぼ傾向が一致しているが、鉛直成分の方が精度がやや悪い。図 5 に、シミュレーションの結果得られた、約 30 秒間の流線の変動パターンを示す(点線は負の値)。第二バップル列と第三バップル列の間の区間が境界条件の影響を受けにくいので、この区間を比較対象とする。主流の上下に交互にできる大規模な渦が下流に移流し、それにともなって主流が蛇行するように見える。図 6 に示したスチルカメラによる流れのパターンは図 5 の上段のパターンによく似ている。

以上の結果より、LES による連続的な突起物周辺の流況の予測が可能であるといえる。

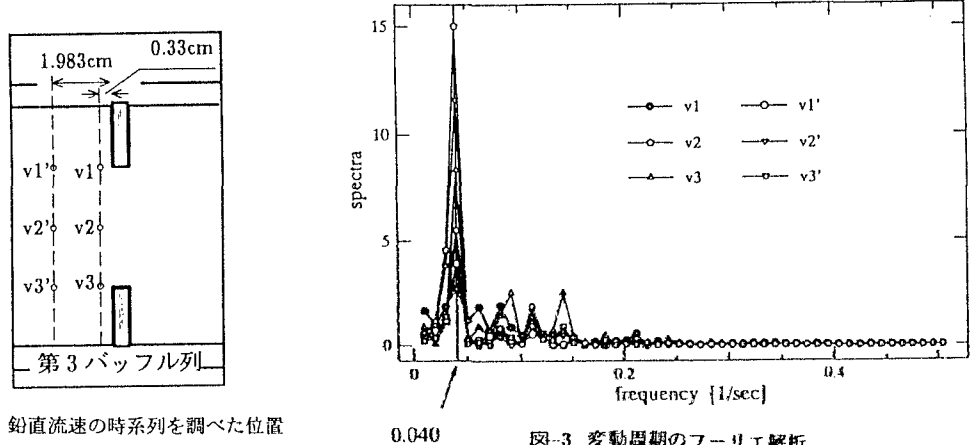


図-2 鉛直流速の時系列を調べた位置

図-3 変動周期のフーリエ解析

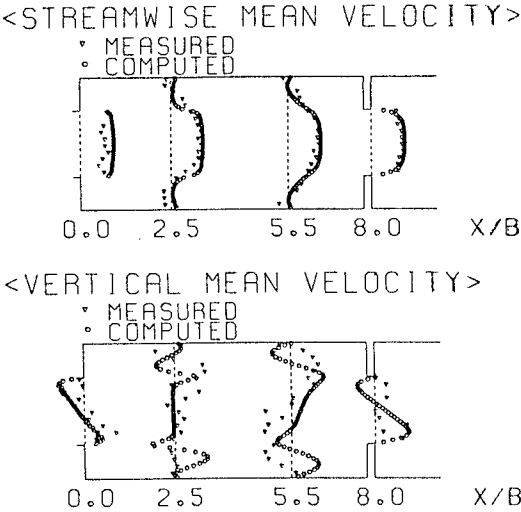


図-4 平均風の比較

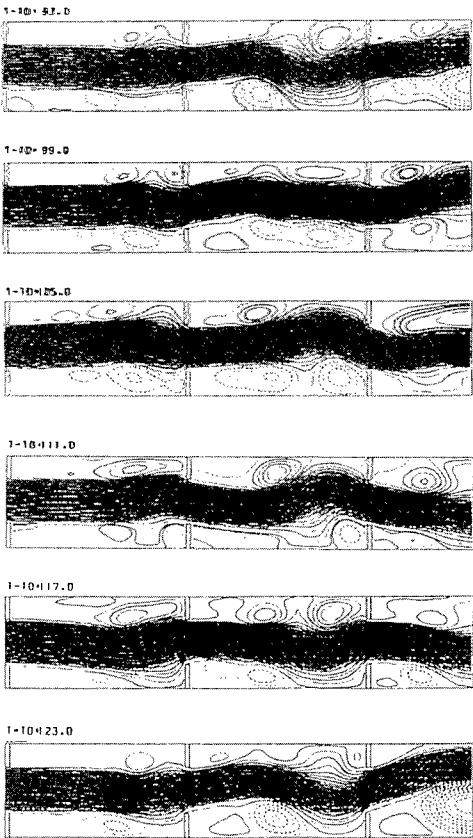


図-5 流関数分布の時系列 ($R_B=5843$)

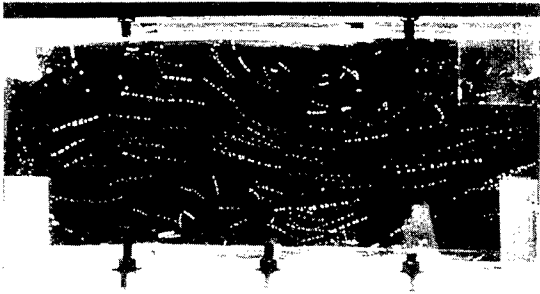


図-6 写真による流れの可視化 ($R_B = 5730$)